

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-311849

(43)Date of publication of application : 09.11.2001

(51)Int.Cl.

G02B 6/22
G02B 6/10
H04B 10/02
H04B 10/18

(21)Application number : 2001-046925

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 22.02.2001

(72)Inventor : ARAI SHINICHI
SUGIZAKI RYUICHI
AISO KEIICHI
KOYAMA NAOTO
TERADA ATSUSHI
KOAIZAWA HISASHI
INOUE KATSUNORI

(30)Priority

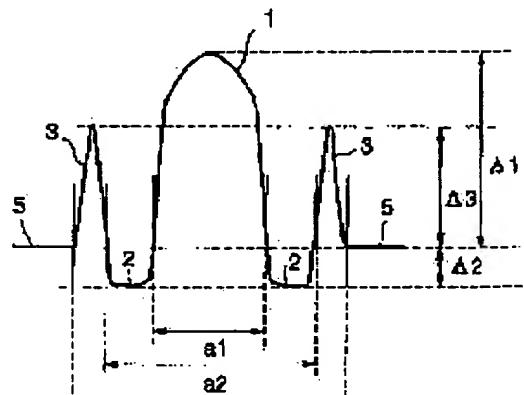
Priority number : 2000049089 Priority date : 25.02.2000 Priority country : JP

(54) LOW DISPERSION OPTICAL FIBER AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a low dispersion optical fiber compatible with both lowering of wavelength dispersion and expansion of an effective core cross-sectional area in use wavelength range.

SOLUTION: The outer peripheral side of a center core 1 is covered with a 1st side core 2; the outer peripheral side of the 1st side core 2 is covered with a 2nd side core 3; the outer peripheral side of the 2nd side core is covered with a clad 5; and when the maximum refractive



index of the center core 1 is expressed by n1, the minimum refractive index of the 1st side core 2 by n2, the maximum refractive index of the 2nd side core 3 by n3, and the refractive index of the clad 5 by nc, a relation of $n1 > n3 > nc > n2$ is made to be satisfied. Relative refractive index differences $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ each of the maximum refractive index of the center core 1, the minimum refractive index of the 1st side core 2, and the maximum refractive index of the 2nd side core 3 to the clad 5 are made to $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$, $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$, $0.2\% \leq \Delta 3$, respectively.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-311849

(P2001-311849A)

(43) 公開日 平成13年11月9日 (2001.11.9)

(51) Int.Cl'
G 02 B 6/22
6/10
H 04 B 10/02
10/18

識別記号

F I
G 02 B 6/22
6/10
H 04 B 9/00

テーマコード(参考)
2 H 0 5 0
C 5 K 0 0 2
M

審査請求 未請求 請求項の数 7 OL (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-46925(P2001-46925)
(22) 出願日 平成13年2月22日 (2001.2.22)
(31) 優先権主張番号 特願2000-49089(P2000-49089)
(32) 優先日 平成12年2月25日 (2000.2.25)
(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(72) 発明者 荒井 健一
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(72) 発明者 杉崎 隆一
東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内
(74) 代理人 100093894
弁理士 五十嵐 清

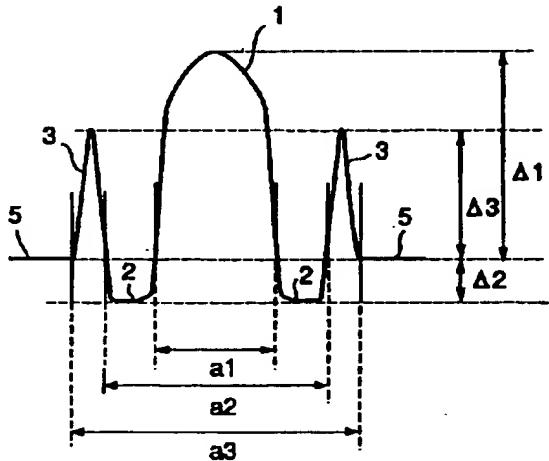
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低分散光ファイバおよびその低分散光ファイバを用いた光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 使用波長域における低波長分散化と実効コア断面積の拡大とを両立できる低分散光ファイバを提供する。

【解決手段】 センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、該第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、該第2サイドコア3の外周側をクラッド5で覆い、センタコア1の最大屈折率をn1、第1サイドコア2の最小屈折率をn2、第2サイドコア3の最大屈折率をn3、クラッド5の屈折率をncとしたとき、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成す。センタコア1の最大屈折率、第1サイドコア2の最小屈折率、第2サイドコア3の最大屈折率のクラッド5に対するそれぞれの比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ を、 $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$ 、 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ 、 $0.2\% \leq \Delta 3$ とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側をクラッドで覆って形成される分散シフト光ファイバであって、前記センタコアの最大屈折率をn₁、前記第1サイドコアの最小屈折率をn₂、前記第2サイドコアの最大屈折率をn₃、前記クラッドの屈折率をn_cとしたとき、n₁>n₃>n_c>n₂と成し、前記センタコアの最大屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差△1が0.4%≤△1≤0.7%であり、前記第1サイドコアの最小屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差△2が-0.30%≤△2≤-0.05%であり、前記第2サイドコアの最大屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差△3が0.2%≤△3と成し、前記センタコアの直径a₁と前記第1サイドコアの直径a₂との比(a₁/a₂)が0.4以上0.7以下と成し、前記第2サイドコアの直径a₃と前記第1サイドコアの直径a₂との比(a₃/a₂)が1.6以下と成していることを特徴とする低分散光ファイバ。

【請求項2】 第2サイドコアにはSiO₂の屈折率を上昇させる添加物がドープされており、該第2サイドコアにドープされている前記添加物の光ファイバ径方向の濃度分布は極大部を有して該極大部の位置が前記第2サイドコアの径方向中心部よりも第1サイドコア側と成していることを特徴とする請求項1記載の低分散光ファイバ。

【請求項3】 添加物はGeO₂であることを特徴とする請求項2記載の低分散光ファイバ。

【請求項4】 クラッドと第2サイドコアとの間に前記クラッドよりも屈折率が小さい低屈折率クラッド部が設けられていることを特徴とする請求項1又は請求項2又は請求項3記載の低分散光ファイバ。

【請求項5】 波長1450nm～1650nmの波長域に含まれる使用波長域に零分散を有していないことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれか一つに記載の低分散光ファイバ。

【請求項6】 波長1450nm～1650nmの波長域に含まれる任意の30nmの帯域を有する波長域における分散値の最大値と最小値との偏差が2ps/nm/km以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれか一つに記載の低分散光ファイバ。

【請求項7】 請求項1乃至請求項6のいずれか一つに記載の低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路と、波長1450nm～1650nmの波長域における波長分散勾配が負の分散補償デバイスとを設け、前記波長域における前記光伝送路の正の波長分散勾配を前記分散補償デバイスによって低減する構成としたことを特徴とする低分散光ファイバを用いた光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば波長1.5μm帯において波長分割多重光伝送を行なうときに用いる低分散光ファイバおよびその低分散光ファイバを用いた光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】情報化社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にあり、光ファイバ通信における高速大容量化は、必要かつ、不可欠の課題となっている。この高速大容量化へのアプローチとして、Er³⁺を添加したエルビウム添加光ファイバ(EDF)などの希土類添加光ファイバを用いることにより、光信号を光のまま增幅できる光ファイバアンプタイプの光増幅器が開発され、この光ファイバアンプタイプの光増幅器の開発によって信号光の大電力化が急速に発展しつつある。

【0003】また、その一方で、光通信における通信容量の拡大のために、異なる波長を持つ光信号を1本の光ファイバで伝送する波長分割多重光伝送方式による通信の開発が行われており、この波長分割多重光伝送方式を用いた光通信システム(波長分割多重光伝送システム)に前記光ファイバアンプタイプの光増幅器を適用することにより、さらなる通信容量の拡大および長距離伝送の実現化が期待される。

【0004】前記光ファイバアンプタイプの光増幅器の代表例として、上記EDFを有するEDFA(エルビウム添加光ファイバ型アンプ)があり、このEDFAを用い、例えばEDFAの利得帯域である波長1.5μm帯(波長1520nm～1620nm)の波長を伝送帯域として上記波長分割多重光伝送を行なうことが検討されている。

【0005】そして、上記波長1.5μm帯のうち、特に波長1550nm近傍の波長帯(波長1.55μm帯)を伝送帯域(使用波長域)とした波長分割多重光伝送用の光ファイバとして、従来、図6の(a)に示すような階段型の屈折率プロファイルや、同図の(b)に示すようなW型の屈折率プロファイルを有する光ファイバが用いられている。

【0006】階段型屈折率プロファイルの光ファイバは、クラッド5より屈折率が大きいセンタコア1の外周側に、センタコア1よりも屈折率が小さく、かつ、クラッド5よりは屈折率が大きい第1サイドコア2を設けて形成されている。一方、W型屈折率プロファイルの光ファイバは、クラッド5よりも屈折率が大きいセンタコア1の外周側に、クラッド5よりも屈折率が小さい第1サイドコア2を設けて形成されている。

【0007】上記階段型屈折率プロファイルの光ファイバのうち、波長1.55μm近傍に零分散波長を有する光ファイバは分散シフト光ファイバと呼ばれている。この分散シフト光ファイバは、波長1.55μm帯の中心波長である波長1.55μm近傍に零分散波長を有していることから、波長1.55μm近傍における分散によ

る信号光波形の歪みを抑制できる反面、非線形現象の一つである4光波混合の発生が顕著となり、発生した4光波混合光によって信号光の波形に歪みが生じてしまい、高品質の波長分割多重光伝送を実現することができない。

【0008】そこで、上記階段型屈折率プロファイルの光ファイバのうち、零分散波長を波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯からずらした光ファイバも開発されているが、この種の光ファイバは波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の分散勾配が大きいことが知られており、それゆえ、波長分割多重光伝送での使用波長域内の波長分散偏差（使用波長域における波長分散の最大値と最小値との差）を小さくすることが困難である。したがって、この種の光ファイバを用いた場合、波長分割多重光伝送用として用いる使用波長域を広くすることができない。

【0009】一方、前記W型屈折率プロファイルの光ファイバは、上記波長分散偏差が小さいため分散フラット光ファイバとして機能するが、上記階段型屈折率プロファイルの光ファイバの実効コア断面積（実効的に光が伝搬する領域： A_{eff} ）が約 $45\mu\text{m}^2$ であるのに対し、W型屈折率プロファイルの光ファイバの実効コア断面積が例えば約 $30\mu\text{m}^2$ であり、実効コア断面積が $2/3$ 程度と小さい。このように、実効コア断面積が小さいと、波長分割多重光伝送において、光ファイバ内で生じる非線形現象により伝送信号が劣化してしまうといった問題があった。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】そこで、図6の(c)に示すようなセグメントコア型の屈折率プロファイルを有する光ファイバにより実効コア断面積を拡大する提案されている。なお、図6の(c)において、1はセンタコア、2は第1サイドコア、3は第2サイドコア、5はクラッドである。しかしながら、この種の光ファイバは、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯の波長分散勾配が大きく、同波長域での波長分散偏差が大きいため、この提案の光ファイバを波長分割多重伝送に適用した場合、波長分散による信号光波形劣化が顕著になってしまふといった問題が生じる。

【0011】また、光ファイバを波長分割多重伝送システムに適用するためには、光ファイバをケーブル化しなければならず、そのためには、光ファイバの曲げや側圧による損失増加を低減できる特性を有するものが求められるので、これらの曲げ特性が良好であることも波長分割多重伝送用の光ファイバには求められる。しかしながら、上記の如く、高品質な波長分割多重伝送システムを実現するために必要な実効コア断面積の拡大と波長分散偏差の低減を両立できる光ファイバは未だ実現されておらず、加えて、上記曲げ損失特性も良好な光ファイバを実現することは困難であった。

【0012】さらに、近年、光增幅器として、ラマン増

幅器が実用化されようとしている。ラマン増幅器は従来のEDFAと比較して增幅可能な波長帯域が拡大し、例えば波長 $1450\text{nm} \sim 1650\text{nm}$ の範囲内の設定波長帯の光信号を增幅することが可能となるが、この波長範囲における光ファイバの検討はまだ進んでいない。

【0013】本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、例えば使用波長域において、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立することができ、しかも、ケーブル化したときの曲げや側圧による損失増加を低減できる低分散光ファイバおよびその低分散光ファイバを用いた光伝送システムを提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、低分散光ファイバの第1の発明は、センタコアの外周側を第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの外周側を第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの外周側をクラッドで覆って形成される分散シフト光ファイバであって、前記センタコアの最大屈折率を n_1 、前記第1サイドコアの最小屈折率を n_2 、前記第2サイドコアの最大屈折率を n_3 、前記クラッドの屈折率を n_c としたとき、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成し、前記センタコアの最大屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 1$ が $0.4\% \leq \Delta 1 \leq 0.7\%$ であり、前記第1サイドコアの最小屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 2$ が $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ であり、前記第2サイドコアの最大屈折率の前記クラッドに対する比屈折率差 $\Delta 3$ が $0.2\% \leq \Delta 3$ と成し、前記センタコアの直径 a_1 と前記第1サイドコアの直径 a_2 との比(a_1/a_2)が 0.4 以上 0.7 以下と成し、前記第2サイドコアの直径 a_3 と前記第1サイドコアの直径 a_2 との比(a_3/a_2)が 1.6 以下と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0015】また、低分散光ファイバの第2の発明は、上記第1の発明の構成に加え、第2サイドコアには SiO_2 の屈折率を上昇させる添加物がドープされており、該第2サイドコアにドープされている前記添加物の光ファイバ径方向の濃度分布は極大部を有して該極大部の位置が前記第2サイドコアの径方向中心部よりも第1サイドコア側と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0016】さらに、低分散光ファイバの第3の発明は、上記第2の発明の構成に加え、前記添加物が GeO_2 である構成をもって課題を解決する手段としている。

【0017】さらに、低分散光ファイバの第4の発明は、上記第1又は第2又は第3の発明の構成に加え、前記クラッドと第2サイドコアとの間に前記クラッドよりも屈折率が小さい低屈折率クラッド部が設けられている

構成をもって課題を解決する手段としている。

【0018】さらに、低分散光ファイバの第5の発明は、上記第1乃至第4のいずれか一つの発明の構成に加え、波長1450nm～1650nmの波長域に含まれる使用波長域に零分散を有していない構成をもって課題を解決する手段としている。

【0019】さらに、低分散光ファイバの第6の発明は、上記第1乃至第5のいずれか一つの発明の構成に加え、波長1450nm～1650nmの波長域に含まれる任意の30nmの帯域を有する波長域における分散値の最大値と最小値との偏差が2ps/nm/km以下である構成をもって課題を解決する手段としている。*

$$\Delta 1 = \{ (n_1^2 - n_c^2) / 2n_c^2 \} \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

【0023】

$$\Delta 2 = \{ (n_2^2 - n_c^2) / 2n_c^2 \} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

【0024】

$$\Delta 3 = \{ (n_3^2 - n_c^2) / 2n_c^2 \} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

【0025】上記構成の本発明の低分散光ファイバは、例えば波長1450nm～1650nmの範囲内の設定波長域において、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立することを第1の目的とし、この第1の目的を達成し、かつ、ケーブル化したときの曲げや側圧による損失増加を低減することができるよう、屈折率分布および各コア径の比を最適化したものである。したがって、本発明の低分散光ファイバは、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立し、しかも、ケーブル化したときの曲げや側圧による損失増加を低減することが可能となる（なお、具体的な例については後述する）。

【0026】特に、本発明の低分散光ファイバにおいて、波長1450nm～1650nmの範囲内の使用波長域、例えば波長1530nm～1560nmの波長域に零分散を有していない構成とすると、この波長域において例えば波長分割多重光伝送を行なったときに、4光波混合の発生を抑制できるので非線形現象による波形の歪みが抑制可能となる。なお、上記使用波長域は、波長1450nm～1650nmの範囲内で任意に設定することが可能である。

【0027】さらに、本発明の低分散光ファイバにおいて、上記波長域における分散値の最大値と最小値との偏差を2ps/nm/km以下とすると、この波長域において例えば波長分割多重光伝送を行なったときに、波長分散による波形の歪みがより確実に抑制可能となる。

【0028】また、本発明の光伝送システムにおいては、上記低分散光ファイバを含む光伝送路を構成し、しかも、この低分散光ファイバを含む光伝送路の波長1450nm～1650nmの波長域における正の波長分散勾配を分散補償デバイスの負の波長分散勾配により低減することにより、上記波長帯における波長分散勾配を零に近づけ、波長分散の影響をより一層抑制可能となり、※50

* 【0020】さらに、本発明の光伝送システムは、上記第1乃至第6のいずれか一つの発明の低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路と、波長1450nm～1650nmの波長域における波長分散勾配が負の分散補償デバイスとを設け、前記波長域における前記光伝送路の正の波長分散勾配を前記分散補償デバイスによって低減する構成をもって課題を解決する手段としている。

【0021】なお、本明細書において、上記各比屈折率差△1、△2、△3は、以下の式（1）～（3）により定義している。

【0022】

※高品質な波長分割多重伝送可能な光伝送システムを構築可能となる。

20 【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。図1には、本発明に係る低分散光ファイバの第1実施形態例の屈折率プロファイル（屈折率分布構造）が示されている。

【0030】同図に示すように、本実施形態例の低分散光ファイバは、センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、該第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、該第2サイドコア3の外周側をクラッド5で覆って形成されている。また、前記センタコア1の最大屈折率をn1、前記第1サイドコア2の最小屈折率をn2、前記第2サイドコア3の最大屈折率をn3、前記クラッド5の屈折率をn_cとしたとき、n1>n3>n_c>n2と成している。

【0031】本実施形態例の最も特徴的なことは、第2サイドコア3の最大屈折率のクラッド5に対する比屈折率差△3を0.2%以上として、第2サイドコア3の屈折率の最大値n3をクラッド5の屈折率n_cよりも遙かに大きくしたことである。また、本実施形態例において、前記センタコア1の最大屈折率のクラッド5に対する比屈折率差△1を0.4%以上0.7%以下(0.4%≤△1≤0.7%)とし、前記第1サイドコア2の最小屈折率のクラッド5に対する比屈折率差△2を-0.30%以上-0.05%以下(-0.30%≤△2≤-0.05%)としたことも本実施形態例の特徴としている。

【0032】なお、本実施形態例において、前記センタコア1の最大屈折率のクラッド5に対する比屈折率差△1を0.42%以上0.62%以下(0.42%≤△1

$\leq 0.62\%$) とし、前記第1サイドコア2の最小屈折率のクラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 2$ を -0.25% 以上 -0.05% 以下($-0.25\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$) とすることが望ましい。

【0033】また、本実施形態例において、センタコア1の直径 a_1 と第1サイドコア2の直径 a_2 との比(a_1/a_2)は 0.4 以上 0.7 以下、第2サイドコア3の直径 a_3 と第1サイドコア2の直径 a_2 との比(a_3/a_2)は 1.6 以下と成している。なお、第2サイドコア3の直径 a_3 と第1サイドコア2の直径 a_2 との比(a_3/a_2)は 1.5 以下であることが望ましい。

【0034】また、本実施形態例の低分散光ファイバにおいて、光ファイバを形成する組成等は特に限定されるものではないが、例えば、上記屈折率プロファイルを有する光ファイバとするために、センタコア1と第2サイドコア3には GeO_2 をドープし、第1サイドコア2には F をドープしている。なお、第2サイドコア3にドープされる添加物は、 GeO_2 に限らず、 SiO_2 の屈折率を上昇させる添加物、例えば Al_2O_3 などであってもよい。

【0035】前記センタコア1にドープされている GeO_2 の光ファイバ径方向の濃度分布は、センタコア1の中心部に極大部を有しており、また、第2サイドコア3にドープされている GeO_2 の光ファイバ径方向の濃度分布も第2サイドコア3の径方向中心部に極大部を有している。なお、センタコア1の中心部以外に GeO_2 の光ファイバ径方向の濃度分布の極大部を有していてもよい。

【0036】本実施形態例は、屈折率プロファイルおよび、センタコア1と第1サイドコア2と第2サイドコア3のコア径の比を上記のように特定することにより、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立できるようにした。また、本実施形態例の低分散光ファイバは、使用波長域において、曲げによる損失が小さく、ケーブル化した際に良好な特性を得ることができるものである。

【0037】本実施形態例の低分散光ファイバは、具体的には、実効コア断面積を $45\mu m^2$ 以上とし、かつ、波長 $1530 nm$ ～波長 $1560 nm$ における分散の絶対値(単位 $p s/nm/km$)を 2 以上 12 以下として使用波長帯に零分散波長を有しないようにし、さらに、使用波長域における分散勾配を $0.05 p s/nm^2/km$ 以下として、使用波長域における分散の最大値と最小値との差(分散偏差)を $2 p s/nm/km$ 以下としている。

【0038】なお、本発明者は、上記屈折率プロファイルおよびコア径比を特定するにあたり、様々な光ファイバを試作又はシミュレーションし、その特性を求めた。その結果、前記比屈折率差 $\Delta 1$ が 0.4% 未満の場合、実効コア断面積の拡大および波長分散の低勾配化は実現

できるものの、光ファイバの曲げ損失が大きくなる傾向にあり、ケーブル化したときに良好な特性を維持することが困難であることが分かった。

【0039】一方、比屈折率差 $\Delta 1$ が 0.7% を越えると、波長分散勾配が大きくなり、波長分散偏差が前記階段型屈折率プロファイルの光ファイバよりも大きくなったり、実効コア断面積が階段型屈折率プロファイルの光ファイバ程度になってしまうことが分かった。そこで、前記の如く、比屈折率差 $\Delta 1$ を 0.4% 以上 0.7% 以下とした。

【0040】なお、比屈折率差 $\Delta 1$ は、上記範囲内で適宜設定されるものであるが、センタコア1の屈折率プロファイルが α 乗プロファイルの場合(屈折率形状が、コアの中心部を中心とした $y = -x^\alpha$ の曲線形状を呈している場合)、 α が大きいときには比屈折率差 $\Delta 1$ を小さめにし、 α が小さいときには比屈折率差 $\Delta 1$ を大きめにするとよい。代表的な例として、 α が $4\sim 6$ の場合、比屈折率差 $\Delta 1$ を $0.53\% \sim 0.60\%$ とすることが好ましい。

【0041】また、比屈折率差 $\Delta 2$ を -0.30% 未満とすると、波長分散勾配が小さくなるものの、実効コア断面積も小さくなってしまい、比屈折率差 $\Delta 2$ を -0.05% より大きくすると、実効コア断面積が大きくなるものの、波長分散勾配が従来の階段型屈折率プロファイル光ファイバと同程度に大きくなってしまうので、本実施形態例では、前記の如く、比屈折率差 $\Delta 2$ を、 $-0.30\% \leq \Delta 2 \leq -0.05\%$ とした。

【0042】さらに、上記屈折率プロファイルの光ファイバにおいて、センタコア1の直径 a_1 と第1サイドコア2の直径 a_2 との比(a_1/a_2)が小さくなるに従い、波長 $1450 nm$ ～ $1650 nm$ の波長域で低い曲げ損失を得難くなる傾向があり、また、実効遮断波長が長波長化して光ファイバをシングルモード動作させるとが難しくなる傾向がある。そして、前記比(a_1/a_2)が 0.4 未満のときには、波長 $1450 nm$ ～ $1650 nm$ の波長域における曲げ損失の増大が顕著になり、ケーブルに適さない。

【0043】一方、前記比(a_1/a_2)が 0.7 よりも大きくなると、波長分散を低分散の値とすることが困難となり、波長 $1450 nm$ ～ $1650 nm$ の波長域における波長分割多重光伝送に適さなくなる。そこで、本実施形態例では、前記の如く、前記比(a_1/a_2)を 0.4 以上 0.7 以下とした。

【0044】また、第2サイドコア3の径が大きくなり、第2サイドコア3の直径 a_3 と第1サイドコア2の直径 a_2 との比(a_3/a_2)が 1.6 を越えると、実効遮断波長が長波長化してしまいシングルモード動作しなくなってしまうことから、本実施形態例では、前記比(a_3/a_2)は 1.6 以下とした。

【0045】本実施形態例は、上記検討に基づいて低分

散光ファイバの屈折率プロファイルおよびコア径比を特定したものであるから、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立し、かつ、4光波混合の発生を抑制し、さらに、使用波長帯において、曲げによる損失が小さく、ケーブル化した際に良好な特性を得ることができる。

【0046】例えば、表1には、本実施形態例の具体例*

*として、実施例1～実施例9における比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ および、前記コア径の比(a_1/a_2)、(a_2/a_3)と、コア径(a_3)、各実施例1～9の特性が示されている。なお、表2には、本実施形態例の比較例の特性が示されている。

【0047】

【表1】

単位	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	a_1/a_2	a_2/a_3	波長分散	分散勾配	実効コア断面積	曲げ損失	直径 a_3
単位	%	%	%			ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	dB/m	μm
実施例1	0.50	-0.05	0.40	0.45	0.80	4.1	0.044	54	3.5	18.4
実施例2	0.58	-0.15	0.35	0.42	0.75	-2.5	0.035	48	2.0	18.4
実施例3	0.47	-0.10	0.42	0.475	0.80	2.8	0.028	58	8.5	19.1
実施例4	0.57	-0.15	0.45	0.484	0.78	2.2	0.045	61	9.9	19.2
実施例5	0.55	-0.10	0.37	0.445	0.75	3.2	0.032	58	3.1	21.2
実施例6	0.54	-0.12	0.41	0.457	0.81	5.8	0.054	69	2.5	19.4
実施例7	0.59	-0.15	0.35	0.588	0.75	5.2	0.048	55	1.1	18.5
実施例8	0.56	-0.20	0.27	0.67	0.68	5.2	0.048	53	0.6	17.4
実施例9	0.58	-0.20	0.31	0.63	0.71	4.0	0.045	50	0.06	16.3

【0048】

※※【表2】

単位	$\Delta 1$	$\Delta 2$	a_1/a_2	波長分散	分散勾配	実効コア断面積	曲げ損失
単位	%	%		ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	dB/m
比較例1	0.55	-0.45	0.55	-0.8	0.008	37	8.1
比較例2	0.8	0.2	0.36	0.5	0.005	45	1.8

【0049】なお、表1、2において、波長分散と分散勾配と実効コア断面積(A_{eff})、曲げ損失の各値は、いずれも波長1550 nmにおける値である。また、表1には示していないが、実施例1～9のいずれの光ファイバも、実効遮断波長が波長1450 nm～1650 nmの範囲内の使用波長域よりも短波長側となつており、シングルモード動作可能と成している。

【0050】特に、実施例8、9では、曲げ損失が1 dB/m以下となり、ケーブル化したときの曲げや側圧による損失増加だけでなく、微小な曲げによる損失の増加を低減することができる。

【0051】また、表2において、比較例1は、図6の(b)に示したW型屈折率プロファイルの光ファイバ、比較例2は同図の(a)に示した階段型屈折率プロファイルの光ファイバをそれぞれ示している。表2においても、比屈折率差 $\Delta 1$ は、上記実施形態例と同様にして求めたものであり、比屈折率差 $\Delta 2$ は、比較例1についても、比屈折率差 $\Delta 2$ は第1サイドコア2の最大屈折率のクラッド5に対する比屈折率差を示すものとし、第1サイドコア2の最大屈折率を n_2 、クラッド5の屈折率を n_c として前記式(2)より求めた。

【0052】表1、2に示す特性を比較すると明らかのように、実施例1～9のいずれにおいても、実効コア断面積は比較例1、2よりも大きく、分散勾配は比較例

★1、2よりも小さい。このように、本実施形態例では、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立し、さらに、使用波長域において、光ファイバに20 μmの曲げを与えたときの曲げによる損失が20 dB/m以下で小さく、ケーブル化した際に良好な特性を得られることが確認できた。

【0053】次に、本発明に係る低分散光ファイバの第2実施形態例について説明する。本第2実施形態例の低分散光ファイバの屈折率プロファイルは、図2の(a)に示すものであり、本第2実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されている。本第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、第2サイドコア3の屈折率が最大値となる屈折率極大部を第2サイドコア3の径方向中心部よりも第1サイドコア2側に形成したことである。なお、屈折率極大部は、できる限り第1サイドコア2側にあることが好ましい。

【0054】本第2実施形態例では、上記屈折率プロファイルを達成するために、第2サイドコア3にドープされているSiO₂の屈折率を上昇させる添加物としてのGeO₂の光ファイバ径方向濃度分布の極大部の位置が前記第2サイドコア3の径方向中心部よりも第1サイドコア2側としている。

【0055】本第2実施形態例は以上のように構成されており、本第2実施形態例は、上記屈折率プロファイルを有することから、実効遮断波長を短波長化する効果を

11

奏することができ、確実に使用波長域全域でシングルモード動作できる光ファイバとすることができます。

【0056】例えば、表3には、本第2実施形態例の具体例としての実施例10の構成および特性が示されており、また、表3には、実施例10とほぼ同様の構成で、*

12

*図2の(b)に示すように、第2サイドコア3にドープするGeO₂の濃度分布を光ファイバ径方向にほぼ均一とした試作例1の構成および特性が示されている。

【0057】

【表3】

	A1	A2	A3	a1/a2	a3/a2	波長分散	分散勾配	実効コア断面積	実効遮断波長
単位	%	%	%			ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm ²	nm
実施例10	0.525	-0.15	0.35	0.547	1.39	3.11	0.044	55	1518
試作例1	0.525	-0.15	0.35	0.547	1.39	3.11	0.044	58	1634

【0058】さらに、表4には、実施例10と異なるパラメータを有する光ファイバについて、第2サイドコア3にドープされているGeO₂の光ファイバ径方向濃度分布の極大部の位置を第1サイドコア2側にした実施例としての実施例11および実施例12の構成および特性が示されている。なお、表4においては、GeO₂の光ファイバ径方向濃度分布の極大部の位置を、第1サイドコア2側を0、クラッド5側を1として示している。※20 【表4】

	A1	A2	A3	a1/a2	a3/a2	GeO ₂ 濃度 極大部の位置	波長分散	分散勾配	実効コア断面積	実効遮断波長	直径a3
単位	%	%	%				ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm ²	nm	μm
実施例11	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.07	3.58	0.048	49	1293	15.7
実施例12	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.29	3.49	0.047	49	1321	15.8
試作例2	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.57	3.40	0.046	49	1354	15.8
試作例3	0.57	-0.20	0.30	0.547	1.39	0.86	3.36	0.044	48	1381	15.8

【0061】これらの表から明らかなように、第2サイドコア3にドープするGeO₂の濃度分布の違いによって実効遮断波長が大きく異なっている。

【0062】ここで、表4の例では、曲げ損失を約1d B/mとした場合の諸特性の変化を示しており、第2サイドコア3の屈折率極大部を第2サイドコア3の径方向中心部よりも第1サイドコア2側とすることにより、例えば分散値および分散勾配がわずかに増大する傾向があるが、分散値および分散勾配の値は第2サイドコア3の屈折率極大部を移動させる以外の手法で調整が可能である。たとえば、センタコア1または第1サイドコア2の屈折率などを変化させればよい。

【0063】好ましくは、第2サイドコア3の屈折率極大部の位置を第2サイドコアの幅の1/3よりも第1サイドコア側になるようにすると、分散値や分散勾配の調整効果がある。また、このようにすると、製造性や製造時のばらつきの観点からも良好であった。

【0064】本発明者は、上記比屈折率差△1、△2、△3および、センタコア1の直径a1と第1サイドコア2の直径a2との比(a1/a2)、第2サイドコア3の直径a3と第1サイドコア2の直径a2との比(a3/a2)を、上記第1実施形態例で特定した範囲内で設定することにより、実効コア断面積をより一層拡大し、★50

★かつ、使用波長域における波長分散偏差を低減しようとしたときに、設定値によっては(例えば試作例1のように)実効遮断波長が長波長側になってしまう場合もあることを知った。

【0065】すなわち、一般に、光ファイバに第2サイドコア3を設けることにより実効コア断面積A_{eff}を大きくしようとすると、カットオフ波長が長波長側に移動する。そして、例えば表3の試作例1のように波長1450 nm～1650 nmの範囲内の使用波長域でシングルモード動作しないような光ファイバとなってしまう場合がある。

【0066】そこで、本発明者は、実効遮断波長を短波長側にしてシングルモード動作可能とするために、様々な検討を行ない、本第2実施形態例のように第2サイドコア3の屈折率分布を例えば図2の(a)に示すような分布にすると、実施例10、実施例11、実施例12のように、実効遮断波長を短波長側にして、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減をより一層高レベルに実現することができるを見出した。

【0067】すなわち、図2(a)および表3、表4に示した実施例10、実施例11、実施例12のように、第2サイドコア3の屈折率極大部を第2サイドコア3の

径方向中心部よりも第1サイドコア2側とすることにより、カットオフ波長を短波長側に移動させ、波長1450 nm～1650 nmの範囲内の使用波長域でシングルモード動作する光ファイバとすることが可能となる。

【0068】この理由を、本発明者は以下のように考察している。すなわち、光ファイバの伝搬モードのうち、 LP_{0m} ($m=2, 3 \dots$)あるいは LP_{11} モードは光ファイバ径方向の広い範囲に電界分布を有するものであるため、第2サイドコア3の屈折率極大部を第2サイドコア3の径方向中心部よりも第1サイドコア2側とすることにより、光ファイバを伝搬する光の LP_{01} モードへの影響を小さくとどめながら、上記 LP_{0m} モードや LP_{11} モードへの光が伝搬しないようにして、シングルモード動作できるようになる。

【0069】本第2実施形態例は、この検討に基づいて上記の如く構成を特定したものであるから、表3、表4に示したように、上記優れた効果を奏すことができる。

【0070】次に、本発明に係る低分散光ファイバの第3実施形態例について説明する。本第3実施形態例の低分散光ファイバの屈折率プロファイルは、図3に示すも*

*のであり、本第3実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、クラッド5と第2サイドコア3との間にクラッド5よりも屈折率が小さい低屈折率クラッド部4が設けられていることである。

【0071】本実施形態例は以上のように構成されており、本第3実施形態例の構成を特定するにあたり、本発明者は上記第2実施形態例の構成を特定する際の検討と同様の検討を行なった。本第3実施形態例の構成はこの検討に基づいて特定したものであり、本第3実施形態例も上記第2実施形態例と同様の効果を奏することができる。

【0072】例えば、表5には、本第3実施形態例の具体例としての実施例13の構成および特性と、該実施例13とはほぼ同様の構成で低屈折率クラッド部4を省略して形成した試作例4の構成および特性が示されており、この表から明らかなように、クラッド5と第2サイドコア3との間に低屈折率クラッド部4を設けることにより、実効遮断波長を短波長側にすることができる。

【0073】

【表5】

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	a_1/a_2	a_2/a_3	a_3/a_4	波長分散	分散勾配	第2サイドコア断面積	実効遮断波長	直径 $\phi 3$
値	%	%	%	%				ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	μm
実施例13	0.425	-0.17	0.415	-0.20	0.475	1.25	1.80	4.82	0.046	64	1468	21.9
試作例4	0.425	-0.17	0.415		0.475	1.25		5.291	0.022	87	2407	24.2

【0074】次に、本発明に係る光伝送システムの一実施形態例について説明する。本実施形態例の光伝送システムは、上記第1又は第2又は第3実施形態例の低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路と、波長1450 nm～1650 nmの波長域における波長分散勾配が負の分散補償デバイスとを有し、上記低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路の正の波長分散勾配を前記分散補償デバイスによって低減する構成としたことを特徴としている。

【0075】一例として、表1に示した構成および特性を有する実施例7の低分散光ファイバと、負の分散と負の波長分散勾配を有する分散補償デバイスとを接続して光伝送システムを構築した。

【0076】なお、上記分散補償デバイスは、図5の(a)に示すような屈折率プロファイルを有し、センタコア1の外周側を第1サイドコア2で覆い、該第1サイドコア2の外周側を第2サイドコア3で覆い、該第2サイドコア3の外周側をクラッド5で覆って形成された分散補償光ファイバである。

【0077】この分散補償光ファイバは、上記第1実施形態例の低分散光ファイバと同様に、前記センタコア1の最大屈折率をn1、前記第1サイドコア2の最小屈折率をn2、前記第2サイドコア3の最大屈折率をn3、前記クラッド5の屈折率をncとしたとき、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ と成しているが、前記比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ の各値が上記低分散光ファイバと異なり、例えば $\Delta 1$ が約2.85%、 $\Delta 2$ が約-1%、 $\Delta 3$ が約1.28%と成している。また、コア径比 $a_1/a_2/a_3$ が1/3/3.7程度である。

【0078】また、上記分散補償デバイスは、同図(b)に示すように、波長1450 nm～1650 nmの波長域における分散特性が負の分散(例えば波長1550 nmにおいて、約-150 ps/nm/km以下)と負の波長分散勾配(約-2.18 ps/nm²/km)を有しており、かつ、これらの絶対値が共に大きい。そこで、上記光伝送システムにおいて、実施例7の低分散光ファイバ7の長さと上記分散補償デバイスの長さの比を9.8対2とした。

【0079】この光伝送システムの波長1530 nm～1600 nmの波長域における分散特性が図4の特性線aに示されている。また、同図の特性線bには、上記実施例7の低分散光ファイバ7の波長1530 nm～1600 nmの波長域における分散特性が示されている。

【0080】同図から明らかなように、低分散光ファイ

バ7に、例えば図5の(b)に示したような、負の波長分散勾配を有する分散補償デバイスを接続して光伝送システムを構築すると、光伝送システム全体における使用波長域(この場合波長1450nm~1650nmの範囲内の波長域)の分散偏差をより一層低減できる。

【0081】また、この光伝送システムに適用する分散補償デバイスは、上記のように負の波長分散勾配の絶対値が大きいデバイスとすると、上記のように、デバイスの長さを短くすることができ、分散特性以外の、非線形特性等に影響を及ぼす割合を小さくし、上記各実施形態例の低分散光ファイバの良好な特性を持つ、高品質の波長分割多重光伝送可能な光伝送システムとすることができる。

【0082】なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を探り得る。例えば、本発明の光伝送システムは、上記各実施形態例の低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路と、使用波長域の波長分散勾配が負の分散補償デバイスと組み合わせて使用波長域における分散偏差を小さくするものであるから、上記各実施形態例の低分散光ファイバに他の光ファイバ、例えば使用波長域においてシングルモード動作可能な光ファイバを接続した光伝送路を構成してもよい。

【0083】また、適用する分散補償デバイスの構成は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。ただし、分散補償デバイスを上記のように分散補償光ファイバにより形成すると、デバイスの形成および低分散光ファイバを含んで構成された光伝送路との接続等を行ないやすい。

【0084】また、低分散光ファイバの上記各実施形態例では、センタコア1と第2サイドコア3にGeO₂をドープし、第1サイドコア2にFをドープしたが、第1サイドコア2にGeO₂とFをドープし、これらのドープ量を調整することにより、図1から図3に示すような屈折率プロファイルとしてもよいし、その他の組成としてもよく、低分散光ファイバの組成は様々に設定されるものである。

【0085】さらに、低分散光ファイバの上記各実施形態例では、1530nm~1560nmの波長域において零分散を有さない構成としたが、波長1450nm~1650nmの波長域に含まれる使用波長域に零分散を有さない構成とすると、使用波長域において波長分割多重伝送を行なったときの4光波混合の発生を抑制するために、より広帯域の波長分割多重伝送に適した低分散光ファイバとすることができます。

【0086】

【発明の効果】本発明の低分散光ファイバによれば、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立することを第1の目的とし、この第1の目的を達成し、かつ、ケーブル化したときの曲げや側圧

による損失増加を低減することができるように、屈折率プロファイルおよび各コア径の比を最適化したものであるから、実効コア断面積の拡大と使用波長域における波長分散偏差の低減とを両立し、しかも、ケーブル化したときの曲げや側圧による損失増加を低減することができる。

【0087】また、本発明の低分散光ファイバにおいて、第2サイドコアにはSiO₂の屈折率を上昇させる添加物がドープされており、該第2サイドコアにドープされている前記添加物の光ファイバ径方向の濃度分布は極大部を有して該極大部の位置が前記第2サイドコアの径方向中心部よりも第1サイドコア側と成している構成のものや、クラッドと第2サイドコアとの間に前記クラッドよりも屈折率が小さい低屈折率クラッド部が設けられている構成のものにおいては、実効遮断波長を短波長化することが可能である。

【0088】そのため、この構成によれば、実効コア断面積のより一層の拡大と使用波長域における波長分散偏差のより一層の低減を図り、かつ、シングルモード動作可能な優れた低分散光ファイバとすることができます。

【0089】さらに、第2サイドコアにはSiO₂の屈折率を上昇させる添加物がドープされており、該第2サイドコアにドープされている前記添加物の光ファイバ径方向の濃度分布は極大部を有して該極大部の位置が前記第2サイドコアの径方向中心部よりも第1サイドコア側と成している構成において、前記添加物をGeO₂とすると、従来の光ファイバ製造技術を生かして上記光ファイバを容易に形成することができる。

【0090】さらに、本発明の低分散光ファイバにおいて、波長1520nm~1620nmの波長域に零分散を有していない構成のものによれば、上記いずれかの波長域において例えば波長分割多重光伝送を行なったときに、その波長域における4光波混合の発生を抑制し、非線形現象による波形の歪みを抑制できる。

【0091】さらに、波長1450nm~1650nmの波長域に含まれる任意の30nmの帯域を有する波長域における分散値の最大値と最小値との偏差を2ps/nm/km以下とした構成のものによれば、この波長域において例えば波長分割多重光伝送を行なったときに、波長分散による波形の歪みをより確実に抑制できる。

【0092】さらに、本発明の光伝送システムにおいては、上記低分散光ファイバを含む光伝送路を用い、しかも、この低分散光ファイバを含む光伝送路の波長1450nm~1650nmの波長域における正の波長分散勾配を分散補償デバイスの負の波長分散勾配により低減することにより、上記波長帯における波長分散勾配を零に近づけ、波長分散の影響をより一層抑制するために、高品質な波長分割多重伝送可能な光伝送システムを構築することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る低分散光ファイバの第1実施形態例の光ファイバ径方向に対する屈折率分布（横断面上の屈折率分布）を示す要部構成図である。

【図2】本発明に係る低分散光ファイバの第2実施形態例の光ファイバ径方向に対する屈折率分布（a）と第2実施形態例の比較のために試作した光ファイバの光ファイバ径方向に対する屈折率分布（b）を示す要部構成図である。

【図3】本発明に係る低分散光ファイバの第3実施形態例の光ファイバ径方向に対する屈折率分布を示す要部構成図である。

【図4】本発明に係る低分散光ファイバを用いた光伝送システムの一実施形態例の分散特性を、この光伝送システムに適用した低分散光ファイバの分散特性と共に示す

グラフである。

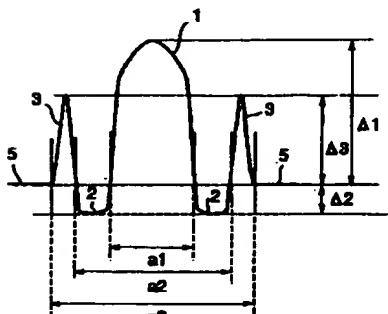
【図5】上記光伝送システムの一実施形態例に適用した分散補償デバイスの屈折率分布を示す説明図（a）と分散特性を示すグラフ（b）である。

【図6】従来波長分割多重光伝送用として提案されている光ファイバの光ファイバ径方向に対する屈折率分布（横断面上の屈折率分布）を示す説明図である。

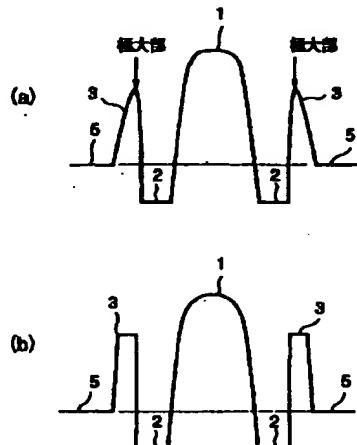
【符号の説明】

- 1 センタコア
- 2 第1サイドコア
- 3 第2サイドコア
- 4 低屈折率クラッド部
- 5 クラッド

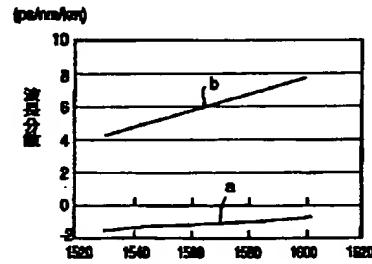
【図1】



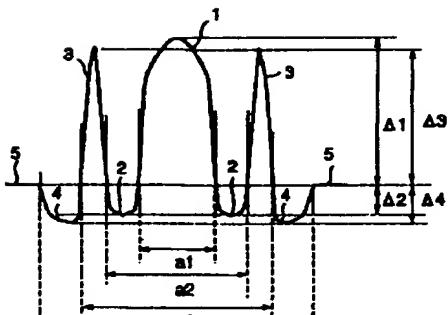
【図2】



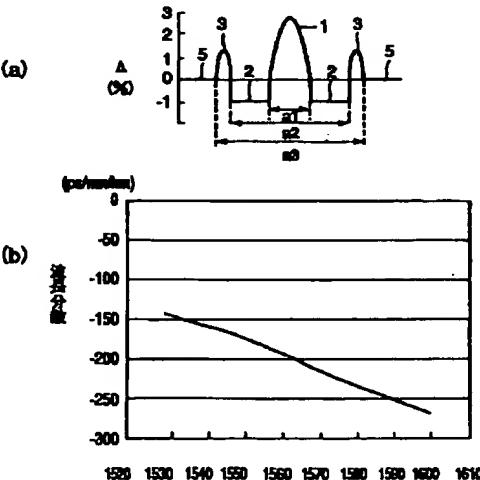
【図4】



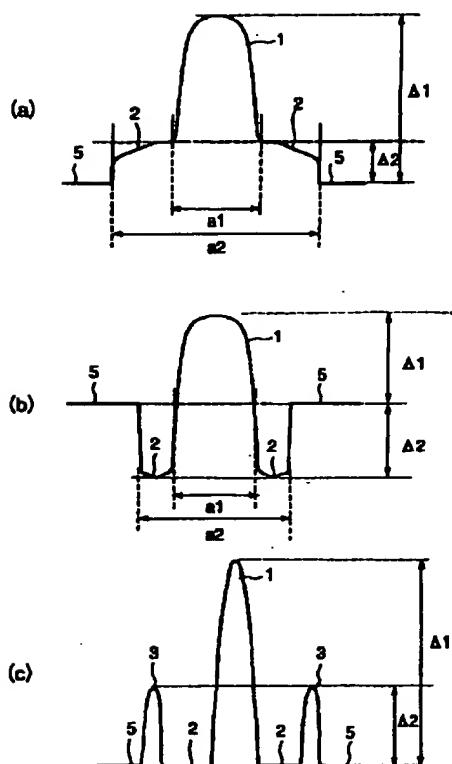
【図3】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 相曾 景一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72)発明者 小山 直人

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72)発明者 寺田 淳

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72)発明者 小相澤 久

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

(72)発明者 井上 克徳

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古
河電気工業株式会社内

F ターム(参考) 2H050 AB03Y AB05X AB07X AB10X

AC15 AC28 AC38 AC73 AC76

AC81 AD01

5K002 CA01 DA02 FA02